ОСОБЕННОСТИ РЕМОНТА СОВРЕМЕННЫХ ЛАМПОВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Геннадий Гендин

Транзисторы вытеснили электронные лампы практически из всех областей применения, кроме одной – высококачественного воспроизведения звука. Здесь ламповые усилители прочно удерживают свой сектор рынка, их объем продаж растет, следовательно, растет и потребность в их ремонте. Сегодня мало кто из молодых мастеров понимает ламповую технику, поэтому практический опыт специалистов старшего поколения особенно ценен.

Сразу же возникает вопрос – а насколько актуальна эта тема сегодня? Ответ на этот вопрос дает официальная статистика. Сегодня высококачественные ламповые УЗЧ уже не являются экзотикой, призванной ублажать снобов от аристократии и «новых русских». Более того, по данным зарубежной печати, в ушедшем 2002 г. производство и реализация ламповых усилителей в ряде стран превысила продажу автономных стационарных Hi-Fi-усилителей на полупроводниковой элементной базе. И это при том, что стоимость хорошего лампового стереоусилителя сегодня, как правило, превышает $5000 (без акустики!).

Чтобы не быть голословным, назовем в качестве примера всего одну американскую фирму – CARI Audio Design Inc., выпускающую более двадцати (!) моделей ламповых УЗЧ, полностью отвечающих требованиям на аппаратуру класса Hi-Fi – Hi-End. В модельный ряд этой группы входят усилители типов SLA-70, SLA-70B-sig, CAD-40M, CAD-2A3, CAD-300M, CAD-300-SE, CAD-211M, SLM-100, CAD-805, SLP-90, CAD-75i. Давно прошли времена, когда по отдельным параметрам ламповые усилители не могли конкурировать с транзисторными. Технические характеристики современных ламповых усилителей приведены в таблице.

Основные технические характеристики ламповых усилителей

Характеристика	Модель	
	CAD-40M	SLM-100
Выходная мощность на нагрузке 4 Ом, Вт	40	100
Клирфактор при номинальной мощности, %	<1	<1
Полоса пропускания, Гц	10...30 000	9...30 000
Неравномерность АЧХ в пределах полосы, дБ	+0/–0,75	+0/–0,75
Динамический диапазон, дБ	80	80
Фактор демпфирования		35
Потребляемая от сети мощность, Вт		350

Так что вопрос об актуальности «ламповой» тематики можно считать отпавшим. Но тогда возникает другой вопрос: а насколько своевременно сегодня говорить о ремонте ламповых усилителей применительно к нашей стране? Ведь в количественном отношении доля ламповых усилителей Hi-Fi-класса среди общего количества БРА составляет едва ли доли процента. И потом, неужели усилители такого класса и такой стоимости настолько малонадежны, что возникает потребность в их ремонте?

И вот здесь необходимо внести определенную ясность. Прежде всего, надо иметь в виду, что неуклонно растущая популярность современных ламповых усилителей во всем мире, сопровождающаяся неудовлетворенным спросом, не только придает престижность этим изделиям БРА, но и делает их некими символами «элитности».

Что же касается особенностей России, то достаточно вспомнить, что сегодня число частных владельцев «пятисотых» и «шестисотых» «Мерседесов» в нашей стране намного превышает число таких владельцев в самой Германии. Поэтому можно с уверенностью прогнозировать, что количество владельцев современных ламповых усилителей уже в ближайшее время начнет стремительно расти за счет импорта из ведущих стран – производителей этой аппаратуры.

Теперь о надежности. Здесь необходимо учитывать, что, в отличие от усилителей на полупроводниковой элементной базе, любая ламповая техника имеет строго ограниченный доремонтный срок службы. И этот срок обусловлен не низкой надежностью самого аппарата, а ограниченным паспортным ресурсом радиоламп.

Даже для самых лучших типов ламп широкого применения он не превышает 750...1000 часов, оставаясь для основной массы типов в пределах 500 часов. И хотя по истечении этого срока большинство ламп сохраняет свою работоспособность, большинство их характеристик и параметров существенно снижаются, соответственно ухудшая характеристики и параметры всего изделия.

Понятно, что для ламповых усилителей класса Hi-Fi такое снижение параметров совершенно недопустимо, поэтому неизбежно возникает необходимость в их периодическом профилактическом ремонте.

И вот здесь возникает третий, главный вопрос: а готовы ли наши российские службы ремонта и сервиса к оказанию подобных услуг на соответствующем качественном уровне? Можно с уверенностью ответить – не готовы.

И тому есть две основные причины – отсутствие специалистов-ремонтников, представляющих специфику ремонта и обслуживания ламповых усилителей, и отсутствие специального нестандартного оборудования, без которого квалифицированный ремонт таких усилителей просто невозможен.

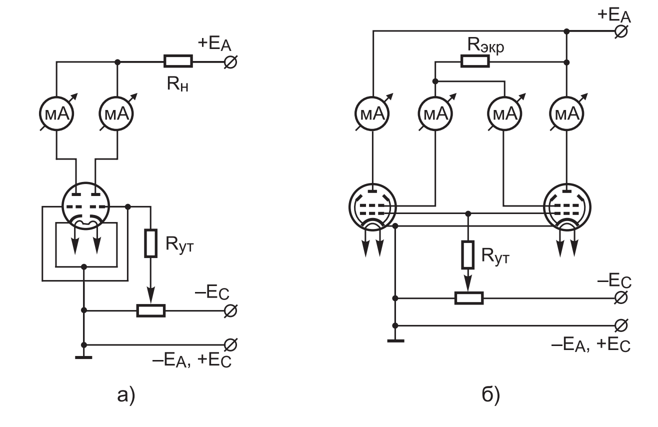


Рис. 1. а) Схема для подбора двойных триодов; б) схема для подбора тетродов и пентодов

В этой статье мы попытаемся дать некоторое представление об особенностях современных ламповых усилителей и специфике их ремонта.

Начнем с ламп. Разделим их на три группы:

1) лампы для оконечных и драйверных (предоконечных) каскадов;

2) лампы для каскадов предварительного усиления;

3) лампы для выпрямителей.

В *первой группе* большинство зарубежных фирм используют либо триоды, имеющие достаточно протяженную линейную часть анодно-сеточной характеристики при работе в классе «А», либо мощные лучевые тетроды или (реже) пентоды, обеспечивающие в ультралинейной схеме включения (разумеется, также в классе «А») величину нелинейных искажений, не превышающую 0,5%.

Нашим российским ремонтникам наиболее часто придется сталкиваться со следующими типами оконечных ламп: 2А3, 211, КТ-88, КТ-89, 300 В, 6550-А, 6СА7, 6AS7-GT. Следует сразу же сказать, что полными, стопроцентными аналогами этих ламп (за исключением уровня качества!) в российском ассортименте являются лишь лампы 2С3 (2А3), 6П27С (американская 6СА7 и немецкая EL34), 6Н13С (6AS7-GT). Остальные лампы, к сожалению, таких отечественных аналогов не имеют, поэтому в случае необходимости их замены у ремонтников возникнут серьезные трудности, поскольку при разработке усилителей конструкторы рассматривают оконечные лампы и выходной трансформатор как некое единое целое. Именно тщательность выбора режима оконечных ламп и точность согласования параметров ламп с параметрами выходного трансформатора обеспечивают усилителю такие параметры, как неискаженная выходная мощность, уровень нелинейных искажений и полоса пропускания.

Более того, для наших ремонтников будет едва ли не откровением тот факт, что при комплектовании усилителя лампами в процессе производства обязательной технологической операцией является тщательный индивидуальный отбор экземпляров ламп для любых симметричных каскадов (и в первую очередь — для двухтактных оконечных и драйверных) по признаку полной идентичности всех их параметров — крутизне характеристики, коэффициенту усиления, величинам тока анода и экранирующей сетки.

Само собой разумеется, что такой же тщательный отбор следует производить и при замене ламп в процессе профилактического ремонта, для чего совершенно необходима специальная аппаратура. К сожалению, такой промышленной аппаратуры у нас не существует, поэтому тем сервисным ремонтным мастерским, которые будут обслуживать ламповые усилители, придется такие приборы изготовить.

Автор этой статьи, много лет занимающийся созданием высококачественных ламповых усилителей, предложил для упрощения подбора «парных» экземпляров ламп с максимально близкими или одинаковыми величинами токов анода и экранных сеток несложное устройство, схема которого приведена на рис. 1.

Схема 1а предназначена для проверки и отбора двойных триодов. Суть ее состоит в том, что оба триода работают в абсолютно идентичных условиях: при одинаковом напряжении накала, одинаковом анодном напряжении, на одну общую нагрузку и при одинаковых значениях напряжения смещения. В этих условиях расхождения в величинах анодного тока могут быть вызваны одной-единственной причиной — неидентичностью двух триодов.

Схема 1б отличается только тем, что предназначена для сравнения анодных и экранных токов двух тетродов или пентодов, что необходимо при отборе по меньшей мере четырех абсолютно одинаковых экземпляров для двухтактных стереоусилителей. Для тех, кто воспользуется этим советом, автор рекомендует сразу отбирать не 4, а 8 одинаковых оконечных ламп в расчете на один запасной комплект. В этом случае очередная замена ламп не приводит к необходимости какой бы то ни было регулировки аппарата.

Пользоваться прибором элементарно просто. Установив в панельку испытуемую лампу, нужно дискретно, небольшими шагами, изменять смещение от полностью запирающего до нулевого, сравнивая при этом для каждой точки величины двух анодных токов. В идеальном случае расхождения между ними вообще не должно быть. На практике максимальный допустимый разброс в самой худшей точке не должен превышать 1%. При большей величине разброса такие лампы для усилителя непригодны.

В *следующую группу* входят лампы для каскадов предварительного усиления и фазоинверторов. Абсолютное большинство западных производителей современных ламповых УНЧ ограничивают их номенклатуру четырьмя типами. Два из них являются представителями более «древних» серий. Это американские восьмиштырьковые «октальные» двойные триоды типов 6SN7-GT и 6SL7-GT, аналогами которых были очень широко распространенные в свое время отечественные лампы 6Н8С и 6Н9С. Два других представляют западноевропейские «пальчиковые» двойные триоды типов ЕСС-87 и ЕСС-83, к которым весьма близки отечественные лампы 6Н1П и 6Н2П. Довольно часто в этой группе встречается двойной триод типа 12AU7, являющийся практически полным аналогом отечественной лампы 6Н2П (за исключением напряжения накала 12 В). Поэтому при необходимости замены ламп этой группы особых затруднений возникнуть не должно. Тем не менее,

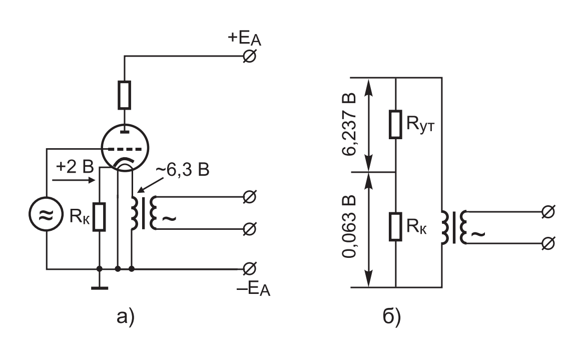


Рис. 2. а) Схема подачи напряжения накала; б) эквивалентная схема цепи накал–катод

Рис. 3. Схема уменьшения фона от цепи накала

такая замена может существенно повлиять на уровень собственного фона и, как следствие, – на величину динамического диапазона усилителя, если импортную лампу заменяют на отечественную в первом, входном каскаде.

Чтобы понять, почему это так, нужно разобраться в физике явления. У любой лампы между нитью накала и катодом всегда имеется сопротивление утечки, величина которого колеблется от сотен кОм до нескольких МОм. Пусть это сопротивление будет 470 кОм (на рис. 2 показана эквивалентная схема цепи накал–катод, где внутреннее сопротивление утечки обозначено через $R_{ут}$). Благодаря имеющемуся на катоде положительному потенциалу относительно шасси (напряжение автоматического смещения +2 В), участок накал–катод можно рассматривать как проводящий открытый диод с внутренним сопротивлением, равным $R_{ут}$. Естественно, что через этот диод по цепи «обмотка накала – промежуток накал–катод – резистор автоматического смещения – второй конец обмотки накала» потечет ток, и напряжение обмотки (6,3 В) окажется поделенным на сопротивлениях $R_{ут}$ и $R_к$ в отношении 100 : 1. Иначе говоря, к сопротивлению автоматического смещения будет приложено паразитное переменное напряжение с частотой 50 Гц, величиной 6,3 : 100 = 0,063 В. Это напряжение, введенное последовательно в анодную цепь лампы, усилится всеми последующими каскадами и создаст на выходе усилителя заметное напряжение фона. А если учесть при этом, что полезное напряжение сигнала на входе усилителя составляет 100...200 мВ, то окажется, что этот полезный сигнал всего лишь вдвое или втрое больше паразитного фона.

Чтобы устранить проникновение фона из цепи накала, достаточно нарушить проводимость паразитного диода накал–катод. Это можно сделать, подав на нить накала положительный потенциал, превышающий напряжение автоматического смещения. Один из вариантов такой схемы представлен на рис. 3. Цепь накала лампы здесь не соединена с шасси, а положительный потенциал на накал лампы подается от дополнительного делителя напряжения через специальный балансировочный потенциометр, с помощью которого при регулировке усилителя добиваются минимально возможного уровня фона.

Еще раз подчеркиваем, что у ламп зарубежного производства такого рода дефект отсутствует, поскольку сопротивление утечки в цепи катод–накал измеряется десятками МОм, а потому и не возникает проблем с уровнем сетевого «фона» во входном каскаде. Но если в процессе ремонта усилителя возникнет необходимость замены входной лампы, придется ввести в схему дополнительные элементы в соответствии с приведенной рекомендацией либо добавить дополнительный выпрямитель на напряжение 6,3 В с хорошим фильтром и питать накал первой лампы постоянным током.

И наконец, *третья группа* – лампы для выпрямителей. На первый взгляд может показаться абсурдным применение кенотронов в наши дни, когда имеется огромное количество кремниевых диодов и диодных сборок, не только полностью заменяющих кенотроны, но и обладающих несравненно лучшими показателями по КПД и экономичности.

И тем не менее, ни одна западная фирма не использует в источниках питания полупроводники, отдавая предпочтение лампам. И это не каприз и не чудачество, а необходимость предотвратить появление на анодах ламп (в первую очередь – мощных выходных) высокого напряжения до тех пор, пока их катоды не прогреются до температуры, обеспечивающей возникновение довольно плотного «электронного облака» вокруг катода. Пренебрежение этим требованием очень скоро приводит к так называемому «отравлению» катодов мощных ламп и их преждевременному старению и выходу из строя.

Ассортимент кенотронов, используемых зарубежными фирмами, сравнительно невелик и включает в себя из американских ламп – 5U4G, 5Y3G, 5V4G, из западноевропейских – EZ-12. Обычно они без труда заменяются отечественными кенотронами 5Ц3С, 5Ц8С и 5Ц9С.

В принципе возможно (при отсутствии кенотронов) применить в выпрямителе отечественные кремниевые диоды типа КД226 (Г или Д), но в этом случае схему усилителя обязательно придется дополнить релейной защитой с временной задержкой, которая будет подавать высокое напряжение на оконечные лампы не ранее, чем через 15...20 с после включения усилителя.

Другая проблема при ремонте ламповых усилителей может возникнуть в случае необходимости замены так называемых «переходных» (или иначе – разделительных) конденсаторов между анодом лампы предыдущего каскада и управляющей сеткой последующего.

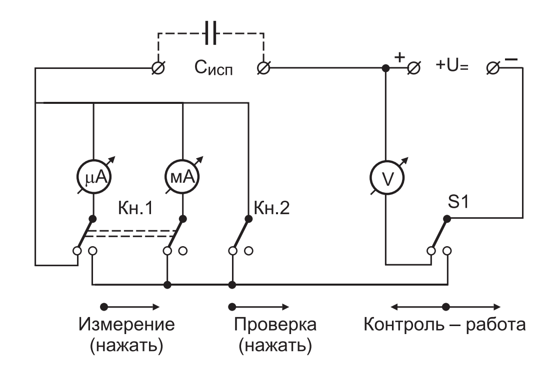


Рис. 4. Схема проверки разделительных конденсаторов

Как правило, к обкладкам такого конденсатора бывает приложено довольно высокое постоянное напряжение (порядка 100...300 В), поэтому первое требование к ним – это соответствующее рабочее напряжение, которое должно по крайней мере на 30...50% превышать реально приложенное в схеме, то есть иметь паспортное значение 250...500 В.

Нынешнее поколение ремонтников, воспитанное на полупроводниковой элементной базе, уже успело отвыкнуть от таких величин рабочих напряжений, поэтому мы и обращаем особое внимание на этот параметр.

Но главное требование к переходным (разделительным) конденсаторам – это недопустимость сколько-нибудь заметной «утечки». Чтобы это требование было понятным, напомним, что переходной конденсатор одним концом подключен к источнику постоянного напряжения 200...300 В (анод предыдущей лампы), а другим – к сетке лампы следующего каскада, в цепи которой включен резистор «утечки сетки» величиной 0,5...1,0 МОм. Если даже ток утечки конденсатора составит всего 1 мкА (!), то на резисторе в 1 МОм он создаст падение напряжения в 1,0 В, а это сдвинет рабочую точку лампы также на 1,0 В, что сделает бессмысленным само понятие «высококачественный усилитель».

Поэтому все без исключения конденсаторы для переходных цепей должны быть предварительно проверены и отобраны по этому параметру. Для этого придется собрать специальную схему, приведенную на рис. 4, и с ее помощью осуществить индивидуальный отбор, подвергнув разбраковке, возможно, не один десяток конденсаторов.

Предупреждение 1: поскольку ток утечки по абсолютной величине весьма мал, для его измерения потребуется гальванометр. А чтобы случайно не вывести этот высокочувствительный и дорогой прибор из строя, необходимо строжайше придерживаться следующего порядка действий:

1. Устанавливаете переключатель S-1 (см. рис. 4) в положение «контроль».
2. Проверяете испытуемый конденсатор тестером на отсутствие короткого замыкания (пробоя).
3. Подключаете конденсатор к клеммам «$С_{исп}$».
4. К клеммам «U=» подключаете высокое напряжение (300, 400 или 500 В в зависимости от рабочего напряжения конденсатора) и по шкале вольтметра проверяете величину напряжения.
5. Переключатель S-1 переводите в положение «работа».
6. *НЕ РАНЕЕ, ЧЕМ ЧЕРЕЗ 30 с*, нажимаете на кнопку КН-2 и смотрите на шкалу миллиамперметра, стрелка которого НЕ ДОЛЖНА отклоняться ни на одно деление, после чего кнопку отпускаете.
7. Теперь *ЛЕВОЙ РУКОЙ* нажимаете кнопку КН-1, после чего, не отпуская первую кнопку, ПРАВОЙ нажимаете кнопку КН-2 и по шкале гальванометра определяете величину тока утечки конденсатора.

Предупреждение 2: если при выполнении пункта 6 стрелка миллиамперметра отклонилась хотя бы на ничтожную величину от нуля, ни в коем случае не нажимайте на кнопку КН-1 (гальванометр), а конденсатор отложите как непригодный для использования в усилителе. Теперь к вопросу о том, какой тип конденсаторов лучше всего применять. Вопрос этот весьма непростой, потому что большинство переходных конденсаторов должны иметь емкость порядка 0,1...0,5 мкФ при рабочем напряжении в 300...400 В. Чаще всего это бумажные или металлобумажные конденсаторы, а именно они, как правило, имеют большой ток утечки.

Считается, что наилучшей изоляцией (а следовательно, и наименьшим током утечки) обладают конденсаторы с фторопластовой, полистирольной и полипропиленовой изоляцией. Однако большинство ремонтников не в состоянии определить тип изоляции конденсатора ни по его внешнему виду, ни даже по маркировке. Поэтому мы предлагаем на выбор наиболее подходящие типы из числа выпускаемых сегодня отечественной промышленностью. Вот эти типы:

КМ-3, 0,22 мкФ на 250 В;
К10-47, 0,1...1,0 мкФ на 250 и 500 В;
К73-9, 0,1...0,15 мкФ на 400 В;
К73-11, 0,1...1,0 мкФ на 400 В;
К73-15, 0,1...0,22 мкФ на 250 и 400 В;
К73-16, 0,22...1,0 мкФ на 400 В;
К73-17, 0,1...1,0 мкФ на 400 В;
К78-2, 0,1 мкФ на 300 В;
К78-4, 0,47...1,0 мкФ на 500 В;
К78-6, 0,12 ...1,0 мкФ на 400 В.

Но если при ремонте усилителя возникла необходимость в замене одного переходного (разделительного) конденсатора, то самое правильное в этом случае – это заменить все четыре конденсатора в аналогичных симметричных цепях обоих каналов стереоусилителя, несмотря на то что три другие исправны. Чтобы понять, в чем смысл такой необходимости, рассмотрим простейший пример и проиллюстрируем его элементарным расчетом.

Пусть переходной конденсатор с анода драйверной лампы правым концом подключен непосредственно к сетке оконечной лампы, резистор утечки которой имеет величину 220 кОм. И пусть в одном плече пушпулла фактическая величина переходного конденсатора точно равна обозначенной и составляет 0,1 мкФ, а в другом равна 0,09 мкФ. Казалось бы, этот 10-% разброс, обычно вполне допустимый, никак не должен повлиять на такой параметр, как коэффициент нелинейных искажений. Однако, не будем торопиться.

Воспользуемся формулой для определения реактивного сопротивления конденсатора:

$$X_C = 1/2\pi fC,$$

где частота берется в Гц, емкость в Ф, а сопротивление получается в омах. Нижняя граница частоты в хорошем современном ламповом усилителе, как правило, составляет 10 Гц, поэтому значение $2\pi f$ можно принять с несущественным округлением равным 63. Подставив это значение в формулу, найдем:

$$X_{C1} = 160\ кОм,\ X_{C2} = 180\ кОм.$$

Таким образом, для частоты 10 Гц имеем в двух плечах пушпулла эквивалентные активные делители напряжения с плечами 160 + 220 кОм и 180 + 220 кОм соответственно. Нетрудно подсчитать, что в этом случае к сеткам оконечных ламп будут подводиться напряжения, различающиеся по величине на 5%, что, естественно, вызовет возникновение соответствующих нелинейных искажений, особенно нежелательных именно на крайних нижних частотах из-за широкого спектра гармоник, попадающих в рабочий диапазон усилителя.

Отсюда становится ясной недопустимость разброса фактических величин емкости переходных конденсаторов. Опять подчеркиваем: пусть лучше их емкость по абсолютной величине отличается от указанной на схеме даже на 10%, чем две емкости будут различаться между собой на 1%.

Естественно, что точно такой же эффект вызовет и разброс величин фактического сопротивления у резисторов утечки сетки двух оконечных ламп, поэтому эти резисторы должны иметь допуск 0,5 или 1,0%, либо их пару следует индивидуально отобрать на цифровом омметре.

Но если цифровой омметр сегодня является штатным прибором практически в любой радиоремонтной мастерской, то измеритель больших емкостей (порядка 0,1...1,0 мкФ), обеспечивающий точность измерения порядка 1%, — большая редкость.

На этот случай автор рекомендует простейший способ, которым он сам пользуется на протяжении многих лет. Из имеющихся под рукой четырех однотипных конденсаторов на необходимое рабочее напряжение, с одинаковой (маркированной) емкостью, предварительно отобранных по отсутствию утечки, нужно составить последовательную цепочку, подключить ее края к генератору низкочастотных сигналов на частоте 10 или 20 Гц с любым удобным для отсчета напряжением и с помощью цифрового вольтметра (допускающего измерение на этой частоте!) замерить напряжения на каждом из четырех конденсаторов.

Эти напряжения будут равны между собой только в случае равенства емкостей конденсаторов. На конденсаторах с большей емкостью напряжение будет меньше, чем на конденсаторах с меньшей емкостью. Заменяя поочередно конденсаторы, нужно добиться равенства напряжений на всех четырех конденсаторах, что будет свидетельствовать о равенстве их емкостей.

Таковы вкратце основные особенности современных высококачественных ламповых усилителей, которые работникам службы сервиса придется учитывать при их ремонте.